饲粮中添加甘氨酸纳米硒对肥育猪血清和组织器官抗氧化能力及硒含量的影响

戴五洲[1] 胡晓龙[1] 郑云林[1] 洪作鹏[2]

（1.江西农业大学动物科学技术学院，南昌 330045；2.浙江维丰生物科技有限公司，建德 311600）

摘 要：本试验旨在探讨饲粮中添加甘氨酸纳米硒对肥育猪血清和组织器官抗氧化能力及硒含量的影响。将 160 头体重约 70 kg 的杜长大杂交肥育猪随机分为 4 组，每组 4 个重复，每个重复 10 头。对照组饲喂基础饲粮，试验组分别饲喂在基础饲粮中添加 0.1、0.3 和 0.5 mg/kg (以硒计)甘氨酸纳米硒的试验饲粮。预试期 5 d，正试期 60 d。结果表明：1）0.1 mg/kg 甘氨酸纳米硒组肝脏、肾脏、胰脏和心脏中谷胱甘肽过氧化物酶活力以及血清中总抗氧化能力和超氧化物歧化酶活力均显著高于对照组（P<0.05）。2）与对照组相比，饲粮添加 0.3 和 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒极显著提高了血清及肌肉、肝脏、肾脏、胰脏和心脏中谷胱甘肽过氧化物酶活力（P<0.01），同时极显著降低了血清及肌肉、肝脏、肾脏、胰脏和心脏中丙二醛的含量（P<0.01）；而且，饲粮添加 0.3 mg/kg 甘氨酸纳米硒还极显著提高了肝脏中超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活力（P<0.01）；饲粮添加 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒还极显著提高了胰脏和心脏中总抗氧化能力和超氧化物歧化酶活力（P<0.01）。3）0.1、0.3 和 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒组肥育猪血清及肌肉、肝脏、肾脏、胰脏和心脏中硒含量极显著高于对照组（P<0.01）。由此可见，饲粮添加甘氨酸纳米硒能提高肥育猪血清及组织器官的抗氧化能力和硒含量，且以添加水平为 0.5 mg/kg 时效果最好。

关键词：肥育猪；甘氨酸纳米硒；抗氧化能力；谷胱甘肽过氧化物酶

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

收稿日期：2017-09-22

作者简介：戴五洲（1990—），男，江西永修人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: daiwuzhoujxau@163.com

*通信作者：郑云林，副教授，硕士生导师，E-mail: 13907098011@163.com

硒（selenium，Se）是人和动物机体必需的微量元素之一[1-2]，在维持体内氧化还原状态[3]、保护机体免疫系统不受侵害[4]、提高繁殖性能[5]以及防治癌症[6]等许多关键的生理机能中都发挥着重要作用。而硒的摄入不足则会引起一系列病症的产生，例如，仔猪摄入硒不足会导致其行动不便、站立不稳以及白肌病等病症的产生[7]；鸡缺硒会出现白肌病和渗出性素质等病症[8]。硒通过含硒蛋白作用于动物体内的抗氧化酶而发挥其抗氧化功能，而动物体内最为重要的抗氧化酶就是谷胱甘肽过氧化物酶（glutathion peroxidase,GSH-Px）。GSH-Px 经过与硒蛋白的相互作用，特异地催化谷胱甘肽还原和清除机体内有毒的过氧化物，保护动物的细胞、组织和器官免受氧化损伤[9]。然而，硒在动物体内的含量达到较高水平后同样具有致毒作用，因而开发低毒、高效的硒源并探索硒的最适添加量一直是硒在动物营养领域的研究热点。纳米硒（nano-selenium）是一种纳米级单质硒，其粒径一般不超过 100 nm。与无机硒相比，纳米硒具有生物活性高、毒性低、吸收利用高、沉积效果好等优势，有望逐步取代无机硒在饲料工业中的应用[10-11]。张乙山等[12]在肥育猪基础饲粮中分别添加纳米硒、有机硒和无机硒 3 种硒源，发现纳米硒无论是在抗氧化作用，还是在硒沉积上都有着最好的效果。已有研究分别验证了纳米硒对仔猪或肥育猪在生长发育[13-16]、肌肉品质[17]、硒含量[16]、免疫功能[14]、甲状腺功能[18]及抗氧化指标[13,16]的积极作用。甘氨酸纳米硒（glycine nano-selenium，G-SeNPs）是一种以甘氨酸为纳米硒修饰载体的新型硒源，其理化性质稳定、流散性好、不产生团聚，然而还鲜有研究触及其对肥育猪在抗氧化作用及组织硒含量的影响。因此，本试验以杜大长肥育猪为试验动物，探讨不同添加水平的甘氨酸纳米硒对肥育猪血清和组织器官抗氧化能力及硒含量的影响，为甘氨酸纳米硒未来在肥育猪饲粮中的广泛应用提供一定的理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料与基础饲粮

甘氨酸纳米硒，饲料级，平均粒径 60 nm，由浙江省建德市维丰饲料有限公司提供，硒

含量为 1%。甘氨酸纳米硒是以甘氨酸为修饰剂和分散剂，纳米硒为膜的复合物，外观呈红褐色，粉末状，无臭，有甘氨酸的特殊甜味，易吸潮和溶于水。作为饲料添加剂使用时，甘氨酸纳米硒为固体颗粒，当溶于水中时，甘氨酸被完全溶解，单质硒又恢复成纳米级并呈圆球状悬浮于溶液中。

试验动物的基础饲粮为玉米-豆粕型饲粮，是参照美国 NRC（2012）标准配合而成的粉状饲料，基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	65
豆粕 Soybean meal	23
麦麸 Wheat bran	8
预混料 Premix[1)]	4
合计 Total	100
营养水平 Nutrient levels	
代谢能 ME/(MJ/kg)[2)]	13.57
粗蛋白质 CP	16.48
钙 Ca	0.62
有效磷 AP	0.52
蛋氨酸 Met	0.298
赖氨酸 Lys	0.907
硒 Se/（mg/kg）	0.039

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet：VA 1 625 IU，VD_3 400 IU，VE 7.5 IU，VK_3 0.5 mg，VB_1 0.75 mg，VB_2 1 mg，VB_6 0.5 mg，VB_{12} 5 μg，泛酸 pantothenic acid 3 mg，烟酰胺 nicotinamide 5 mg，生物素 biotin 25 μg，叶酸 folic acid 0.25 mg，Fe 120 mg，Zn 103.5 mg，Mn 41.34 mg，I 0.5 mg，Co 0.2 mg。

2)代谢能为计算值，其余为实测值。ME was a calculated value and others were measured values.

1.2 试验设计

挑选体重约 70 kg 的杜长大三元杂交肥育猪 160 头，随机分为 4 组，每组 4 个重复，每个重复 10 头，每个重复内公母各占 1/2，公猪为去势公猪。第 1 组为对照组，饲喂基础饲粮（饲粮中不添加任何硒源），其余 3 组饲喂在基础饲粮基础上分别添加 0.1、0.3、0.5 mg/kg（以硒计）甘氨酸纳米硒的试验饲粮。试验于 2015 年 9—11 月在浙江省湖州市正新牧业有限公司开展。预试期 5 d，正试期 60 d。

1.3 样品采集

试验结束前 24 h 禁止喂食，自由饮水，按体重相近原则从每个重复中选取 2 头猪（公母各 1 头），共 32 头，前腔静脉采血，置于 37 ℃水浴锅中静置 30 min，然后 3 000 r/min 离心 10 min，用移液枪移取上清液于 1.5 mL 离心管中，将血清转移至-70 ℃冰箱中保存待测。

将采血后的猪屠宰取肌肉、肝脏、心脏、肾脏、胰脏等样品，肌肉采集自左侧胴体最后肋骨，约 100 g；肝脏采集自肝小叶中部，约 20 g；肾脏采集自左肾脏，约 20 g；心脏及胰脏的采集重量也均是 20 g。将肌肉及脏器样品剪取后，锡纸包裹放入液氮罐中速冻，然后再小心取出转移至-70 ℃冰箱中保存待测。

1.4 检测指标与方法

1.4.1 血清和组织器官中抗氧化指标测定及方法

血清和组织器官中总抗氧化能力（total antioxidant capacity,T-AOC），GSH-Px、超氧化物歧化酶（superoxide dismutase,SOD）、过氧化氢酶（catalase,CAT）活力以及丙二醛（malondialdehyde,MDA）含量的检测方法和步骤均严格按试剂盒（南京建成生物工程研究所产品）中说明书操作，采用的测定仪器为 SpectraMax MS 酶标仪或 UV-2000 紫外-可见光分光光度计。

1.4.2 血清中硒含量测定及方法

取 100 μL 血清样品于玻璃试管中，加入 50%（体积分数）盐酸溶液和混酸（5%硫脲+5%抗坏血酸）溶液各 1 mL，反应 15 min 后用超纯水定容，混匀。于 AFS-3100 型全自动双道原子荧光光度计（杭州德茂科技有限公司）上机测定。

1.4.3 组织器官中硒含量测定及方法

试纸拭干组织器官样品后，称取 0.2 g 样品于微波消解罐中，加入 1 mL H_2O_2，拧紧罐盖，使其消解至无色透明溶液后赶酸约 30 min。用超纯水定容，混匀后取 2 mL 上述溶液于试管中，然后加入 50%（体积分数）盐酸溶液和混酸（5%硫脲+5%抗坏血酸）溶液各 1 mL，反应 15 min 后用超纯水定容，混匀。于 AFS-3100 型全自动双道原子荧光光度计（杭州德茂科技有限公司）上机测定。

1.5 统计分析

所有测试指标均以平均值来表示，不考虑性别差异，每个组作为一个统计单元，共 4 个统计单元。采用单因素方差分析（one-way ANOVA）比较不同纳米硒添加水平对各个指标的影响，事后检验（post hoc test）采用 LSD 检验，所有分析用 SPSS 20.0（IBM）完成。显著性水平设为 0.05，极显著性水平设为 0.01。

2 结 果

2.1 血清抗氧化指标

由表 2 可知，饲粮添加甘氨酸纳米硒对育肥猪血清 T-AOC，GSH-Px、SOD 和 CAT 活

力以及 MDA 含量均产生了极显著影响（P<0.01）。与对照组相比，饲粮中添加 0.1、0.3 和 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒使肥育猪血清 T-AOC 分别提高了 7.07%（P<0.05）、16.03%（P<0.01）和 20.25%（P<0.01）；饲粮添加 0.3 和 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒使血清 GSH-Px 活力分别提高了 15.02%（P<0.01）和 15.39%（P<0.01），使血清 SOD 活力分别提高了 7.89%（P<0.01）和 12.93%（P<0.01），使血清 CAT 活力分别提高了 23.24%（P<0.01）和 25.04%（P<0.01），使血清 MDA 含量分别降低了 9.06%（P<0.01）和 16.37%（P<0.01）。线性分析表明，血清 T-AOC 以及 GSH-Px、SOD 和 CAT 活力与甘氨酸纳米硒添加水平呈极显著正相关（P<0.01），而血清 MDA 含量与甘氨酸纳米硒添加水平呈极显著负相关（P<0.01）。

表 2　饲粮添加甘氨酸纳米硒对肥育猪血清抗氧化指标的影响

Table 2　Effects of G-SeNPs supplementation on antioxidant indexes in serum of finishing pigs (*n*=4)

项目 Items	甘氨酸纳米硒添加水平 G-SeNPs supplemental levels/（mg/kg）				SEM	*P* 值 *P*-value		
	0	0.1	0.3	0.5		甘氨酸纳米硒效应 G-SeNPs effect	线性 Linear	二次 Quadratic
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mL）	1.54^{Aa}	1.65^{Ab}	1.79^{Bc}	1.85^{Bc}	0.03	<0.001	<0.001	0.478
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/	663.81^{Aa}	691.58^{Aa}	763.54^{Bb}	765.99^{Bb}	10.92	<0.001	<0.001	0.424

（U/mL）								
超氧化物歧化酶 SOD/（U/mL）	125.23^{Aa}	131.58^{ABb}	135.11^{BCb}	141.41^{Cc}	1.40	<0.001	<0.001	0.990
过氧化氢酶 CAT/（U/mL）	3.95^{Aa}	4.15^{Aa}	4.87^{Bb}	4.94^{Bb}	0.09	<0.001	<0.001	0.566
丙二醛 MDA/（nmol/mL）	5.93^{Aa}	5.60^{ABab}	5.39^{BCb}	4.96^{Cc}	0.08	<0.001	<0.001	0.636

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P＞0.05)，不同小写字母表示差异显著(P＜0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P<0.01). The same as below.

2.2 肌肉抗氧化指标

由表 3 可知，饲粮添加甘氨酸纳米硒仅对肌肉 GSH-Px、SOD 活力和 MDA 含量造成了极显著影响（P<0.01）。与对照组相比，饲粮中添加 0.3 和 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒使肥育猪肌肉 GSH-Px 活力分别提高了 13.35%（P<0.01）和 15.33%（P<0.01），使肌肉 SOD 活力分别提高了 8.97%（P<0.05）和 12.9%（P<0.05），使肌肉 MDA 含量分别降低了 40.75%（P<0.01）和 38.49%（P<0.01）。线性分析表明，肌肉 GSH-Px 和 SOD 活力与甘氨酸纳米硒添加水平呈极显著正相关（P<0.01），而肌肉 MDA 含量与甘氨酸纳米硒添加水平呈极显著负相关（P<0.01）。

表 3　饲粮添加甘氨酸纳米硒对肥育猪肌肉抗氧化指标的影响

Table 3　Effects of G-SeNPs supplementation on antioxidant indexes in muscle of finishing pigs (*n*=4)

项目 Items	甘氨酸纳米硒添加水平 G-SeNPs supplemental levels/（mg/kg）				SEM	*P* 值 *P*-value		
	0	0.1	0.3	0.5		甘氨酸纳米硒效应 G-SeNPs effect	线性 Linear	二次 Quadratic
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mg prot）	0.13	0.13	0.14	0.14	0.01	0.471	0.140	0.603
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	106.92^{Aa}	111.53^{ABa}	121.19^{Bb}	123.31^{Bb}	1.97	0.004	<0.001	0.704
超氧化物歧化酶 SOD/（U/mg prot）	87.38^{Aa}	91.18^{ABab}	95.22^{ABbc}	98.66^{Bc}	1.26	0.005	<0.001	0.932
过氧化氢酶 CAT/（U/mg prot）	1.49	1.51	1.57	1.61	0.02	0.126	0.852	0.687
丙二醛	0.80^{Aa}	0.62^{Aa}	0.47^{Bb}	0.43^{Cc}	0.03	<0.001	<0.001	0.001

MDA/（nmol/mg prot）								

2.3　肝脏抗氧化指标

由表 4 可知，饲粮中添加甘氨酸纳米硒对肝脏 GSH-Px、SOD、CAT 活力以及 MDA 含量造成了极显著影响（*P*<0.01）。与对照组相比，饲粮中添加 0.1、0.3 和 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒使肥育猪肝脏 GSH-Px 活力分别提高了 8.51%（*P*<0.01）、22.10%（*P*<0.01）和 29.38%（*P*<0.01），肝脏 MDA 含量分别降低了 7.49%（*P*<0.01）、14.15%（*P*<0.01）和 15.36%（*P*<0.01）；饲粮添加 0.3 mg/kg 甘氨酸纳米硒使肝脏 SOD 活力提高了 5.35%（*P*<0.01）；饲粮添加 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒使肝脏 CAT 活力提高了 15.57%（*P*<0.05）。线性分析表明，肝脏 GSH-Px、SOD 和 CAT 活力与甘氨酸纳米硒添加水平呈极显著正相关（*P*<0.01），而肝脏 MDA 含量与甘氨酸纳米硒添加水平呈极显著负相关（*P*<0.01）。

表 4　饲粮添加甘氨酸纳米硒对肥育猪肝脏抗氧化指标的影响

Table 4　Effects of G-SeNPs supplementation on antioxidant indexes in liver of finishing pigs (*n*=4)

项目 Items	甘氨酸纳米硒添加水平 G-SeNPs supplemental levels/（mg/kg）				SEM	*P* 值 *P*-value		
	0.00	0.10	0.30	0.50		甘氨酸纳米硒效应 G-SeNPs effect	线性 Linear	二次 Quadratic
总抗氧化能力 T-AOC/	1.03^{a}	1.06^{b}	1.11^{ab}	1.13^{b}	0.02	0.125	0.948	0.871

（U/mg prot）								
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	116.91^{Aa}	126.86^{Bb}	142.74^{Cc}	151.26^{Dd}	2.51	<0.001	<0.001	0.642
超氧化物歧化酶 SOD/（U/mg prot）	296.69^{Aa}	299.23^{ABa}	312.55^{Bb}	309.09^{ABb}	1.99	0.006	0.002	0.380
过氧化氢酶 CAT/（U/mg prot）	66.49^{Aa}	68.84^{ABa}	72.52^{BCb}	76.84^{Cb}	0.91	<0.001	<0.001	0.418
丙二醛 MDA/（nmol/mg prot）	4.14^{Aa}	3.83^{Bb}	3.56^{BCc}	3.51^{Cc}	0.06	<0.001	<0.001	0.111

2.4　肾脏抗氧化水平

由表 5 可知，饲粮中添加甘氨酸纳米硒对肾脏 T-AOC、GSH-Px 活力和 MDA 含量造成了极显著影响（P<0.01）。与对照组相比，饲粮中添加 0.1、0.3 和 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒组使肥育猪肾脏 GSH-Px 活力分别提高了 5.34%（P<0.05）、12.47%（P<0.01）和 16.98%（P<0.01）；饲粮添加 0.3 和 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒使肾脏 T-AOC 分别提高了 10.16%（P<0.01）和 11.32%（P<0.01），使肾脏 SOD 活力分别提高了 3.95%（P<0.05）和 4.59%（P<0.05），使肾脏 MDA 含量分别降低了 8.91%（P<0.01）和 10.04%（P<0.01）；饲粮添加 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒使肾脏 CAT 活力提高了 8.80%（P<0.05）。线性分析表明，肾脏 T-AOC 和 GSH-Px 活力与甘

氨酸纳米硒添加水平呈极显著正相关（*P*<0.01），而肾脏 MDA 含量与甘氨酸纳米硒添加水平呈极显著负相关（*P*<0.01）。

表 5　饲粮添加甘氨酸纳米硒对肥育猪肾脏抗氧化指标的影响

Table 5　Effects of G-SeNPs supplementation on antioxidant indexes in kidney of finishing pigs (*n*=4)

项目 Items	甘氨酸纳米硒添加水平 G-SeNPs supplemental levels/（mg/kg）				SEM	*P* 值 *P*-value		
	0.00	0.10	0.30	0.50		甘氨酸纳米硒效应 G-SeNPs effect	线性 Linear	二次 Quadratic
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mg prot）	0.43^{Aa}	0.45^{ABab}	0.48^{Bbc}	0.48^{Bc}	0.01	0.002	<0.001	0.397
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	338.59^{Aa}	356.68^{Ab}	380.82^{Bc}	396.09^{Bc}	4.81	<0.001	<0.001	0.807
超氧化物歧化酶 SOD/（U/mg prot）	468.61^{a}	477.20^{ab}	487.10^{b}	490.14^{b}	3.17	0.057	0.794	0.637
过氧化氢酶 CAT/（U/mg	56.87^{a}	58.31^{ab}	59.89^{ab}	61.87^{b}	0.79	0.135	0.962	0.858

prot）								
丙二醛 MDA/（nmol/mg prot）	1.77[Aa]	1.70[ABab]	1.62[Bb]	1.60[Bb]	0.02	0.004	0.001	0.416

2.5　胰脏抗氧化指标

由表 6 可知，饲粮中添加甘氨酸纳米硒对胰脏 T-AOC，GSH-Px、CAT 活力和 MDA 含量造成了极显著影响（*P*<0.01）。与对照组相比，饲粮中添加 0.1、0.3 和 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒使肥育猪胰脏 T-AOC 分别提高了 13.70%（*P*<0.01）、15.25%（*P*<0.01）和 18.86%（*P*<0.01）；使胰脏 GSH-Px 活力分别提高了 6.79%（*P*<0.05）、13.84%（*P*<0.01）和 23.01%（*P*<0.01）；饲粮添加 0.3 和 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒使胰脏 CAT 活力分别提高了 10.52%（*P*<0.01）和 10.98%（*P*<0.01），使胰脏 MDA 含量分别降低了 13.68%（*P*<0.01）和 18.87%（*P*<0.01）。线性分析表明，胰脏 T-AOC，GSH-Px、CAT 活力与甘氨酸纳米硒添加水平呈极显著正相关（*P*<0.01），而胰脏 MDA 含量与甘氨酸纳米硒添加水平呈极显著负相关（*P*<0.01）。

表 6　饲粮添加甘氨酸纳米硒对肥育猪胰脏抗氧化指标的影响

Table 6　Effects of G-SeNPs supplementation on antioxidant indexes in pancreas of finishing pigs (*n*=4)

项目 Items	甘氨酸纳米硒添加水平 G-SeNPs supplemental levels/（mg/kg）				SEM	*P* 值 *P*-value		
	0.00	0.10	0.30	0.50		甘氨酸纳米硒效应 G-SeNPs effect	线性 Linear	二次 Quadratic

总抗氧化能力 T-AOC/（U/mg prot）	0.39^{Aa}	0.44^{Bb}	0.45^{Bbc}	0.46^{Bc}	0.01	<0.001	<0.001	0.002
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	175.06^{Aa}	186.94^{ABb}	199.28^{Bc}	215.33^{Cd}	3.16	<0.001	<0.001	0.561
超氧化物歧化酶 SOD/（U/mg prot）	138.16	142.04	145.28	146.90	1.73	0.300	0.064	0.744
过氧化氢酶 CAT/（U/mg prot）	4.12^{Aa}	4.30^{ABa}	4.55^{Bb}	4.57^{Bb}	0.05	0.001	<0.001	0.318
丙二醛 MDA/（nmol/mg prot）	0.42^{Aa}	0.39^{ABab}	0.37^{BCb}	0.34^{Cc}	0.01	<0.001	<0.001	0.586

2.6 心脏抗氧化指标

由表 7 可知，饲粮添加甘氨酸纳米硒对心脏 T-AOC，GSH-Px、SOD、CAT 活力和 MDA 含量造成了极显著影响（P<0.01）。与对照组相比，饲粮中添加 0.1、0.3 和 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒使肥育猪心脏 T-AOC 分别提高了 5.48%（P<0.05）、6.62%（P<0.01）和 10.73%（P<0.01），使心脏 GSH-Px 活力分别提高了 12.17%（P<0.01）、39.77%（P<0.01）和 49.49%（P<0.01），使心脏 CAT 活力分别提高了 7.59%（P<0.01）、10.09%（P<0.01）和 18.05%（P<0.01），使

MDA 含量分别降低了 15.34%（*P*<0.01）、28.01%（*P*<0.01）和 45.82%（*P*<0.01）；饲粮添加 0.3 和 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒使心脏 SOD 活力分别提高了 7.54%（*P*<0.05）和 11.62%（*P*<0.01）。线性分析表明，心脏 T-AOC，GSH-Px、SOD 和 CAT 活力与甘氨酸纳米硒添加水平呈极显著正相关（*P*<0.01），而心脏 MDA 含量与甘氨酸纳米硒添加水平呈极显著负相关（*P*<0.01）。

表 7　饲粮添加甘氨酸纳米硒对肥育猪心脏抗氧化指标的影响

Table 7　Effects of G-SeNPs supplementation on antioxidant indexes in heart of finishing pigs (*n*=4)

项目 Items	甘氨酸纳米硒添加水平 G-SeNPs supplemental levels/（mg/kg）				SEM	*P* 值 *P*-value		
	0	0.10	0.30	0.50		甘氨酸纳米硒效应 G-SeNPs effect	线性 Linear	二次 Quadratic
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mg prot）	0.44^{Aa}	0.46^{ABb}	0.47^{Bbc}	0.49^{Bc}	0.01	0.001	<0.001	0.679
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mg prot）	134.72^{Aa}	151.11^{Bb}	188.29^{Cc}	201.38^{Cd}	5.22	<0.001	<0.001	0.688
超氧化物歧	189.42^{Aa}	196.40^{Aab}	203.71^{ABbc}	211.42^{Bc}	2.26	0.001	<0.001	0.920

化酶 SOD/（U/mg prot）								
过氧化氢酶 CAT/（U/mg prot）	5.04^{Aa}	5.42^{Bb}	5.54^{Bb}	5.95^{Cc}	0.07	<0.001	<0.001	0.919
丙二醛 MDA/（nmol/mg prot）	1.90^{Aa}	1.61^{Bb}	1.37^{Cc}	1.03^{Dd}	0.06	<0.001	<0.001	0.571

2.7 血清及组织器官硒含量

由表 8 可知，饲粮中添加甘氨酸纳米硒血清及组织中硒含量造成了极显著影响（P<0.01）。与对照组相比，饲粮中添加 0.1、0.3 和 0.5 mg/kg 甘氨酸纳米硒使血清硒含量分别提高了 79.23%（P<0.01）、169.97%（P<0.01）和 210.97%（P<0.01），使肌肉硒含量分别提高了 3.30%（P<0.05）、5.61%（P<0.01）和 16.50%（P<0.01），使心脏硒含量分别提高了 6.92%（P<0.01）、22.68%（P<0.01）和 36.69%（P<0.01），使肝脏硒含量分别提高了 15.31%（P<0.01）、31.82%（P<0.01）和 46.62%（P<0.01），使胰脏硒含量分别提高了 9.27%（P<0.01）、15.23%（P<0.01）和 24.69%（P<0.01），使肾脏硒含量分别提高了 18.8%（P<0.01）、31.35%（P<0.01）和 37.4%（P<0.01）。血清及各器官（心脏、肝脏、胰脏、肾脏）硒含量在不同添加水平甘氨酸纳米硒组间也存在极显著差异（P<0.01）。线性分析表明，血清及组织器官中硒含量与甘氨酸纳米硒添加水平呈极显著正相关（P<0.01）。

表 8 饲粮添加甘氨酸纳米硒对肥育猪血清和组织器官硒含量的影响

Table 8 Effects of G-SeNPs supplementation on Se content in serum, tissue and organs of finishing pigs (n=4) μg/mL

项目 Items	甘氨酸纳米硒添加水平 G-SeNPs supplemental levels/（mg/kg）				SEM	P 值 P-value		
	0	0.10	0.30	0.50		甘氨酸纳米硒效应 G-SeNPs effect	线性 Linear	二次 Quadratic
血清 Serum	$0.093\ 9^{Aa}$	$0.168\ 3^{Bb}$	$0.253\ 5^{Cc}$	$0.292\ 0^{Dd}$	0.014 4	<0.001	<0.001	0.052
肌肉 Muscle	$0.030\ 3^{Aa}$	$0.031\ 3^{ABb}$	$0.032\ 0^{Bb}$	$0.035\ 3^{Cc}$	0.000 4	<0.001	<0.001	0.001
心脏 Heart	$0.114\ 2^{Aa}$	$0.122\ 1^{Bb}$	$0.140\ 1^{Cc}$	$0.156\ 1^{Dd}$	0.003 0	<0.001	<0.001	0.025
肝脏 Liver	$0.116\ 9^{Aa}$	$0.134\ 8^{Bb}$	$0.154\ 1^{Cc}$	$0.171\ 4^{Dd}$	0.003 8	<0.001	<0.001	0.868
胰脏 pancreas	$0.315\ 1^{Aa}$	$0.344\ 3^{Bb}$	$0.363\ 1^{Cc}$	$0.392\ 9^{Dd}$	0.005 4	<0.001	<0.001	0.931
肾脏	$0.576\ 0^{Aa}$	$0.684\ 3^{Bb}$	$0.756\ 6^{Cc}$	$0.791\ 4^{Dd}$	0.015 1	<0.001	<0.001	<0.001

3 讨 论

3.1 甘氨酸纳米硒对肥育猪血清抗氧化能力的影响

在动物机体内无时无刻都有自由基的产生，而氧自由基是机体内极为活跃且所占比例极高的一类自由基[19]。正常情况下氧自由基并不会给人和动物带来伤害，但过多的氧自由基能通过脂质过氧化作用对细胞产生损害作用，进而影响到机体各系统的正常运转、破坏机体

稳态，从而对动物的健康造成损害。动物机体本身存在清除氧自由基的系统，这个系统主要由酶组分和非酶组分 2 个体系组成。酶组分主要包括 SOD、CAT、GSH-Px；非酶组分主要包括维生素 C、维生素 A、维生素 E 等。动物体内 SOD、CAT、GSH-Px 等酶组分活力高低可以间接地反映机抗氧化能力的强弱。本试验通过测定血清中的抗氧化指标发现，饲粮添加甘氨酸纳米硒可使肥育猪血清抗氧化能力呈极显著线性增加，以添加水平为 0.5 mg/kg 时效果最优。

3.2　甘氨酸纳米硒对肥育猪肌肉抗氧化能力的影响

经过人们长期对猪种的选育，猪的生产性能和瘦肉率已经有了很大的改善，但劣质肉的时常出现常导致额外的经济损失。肥育猪肉品质会受到内外多种因素，包括遗传、营养、运输和致死方式等因素的影响，除此之外，脂质过氧化对肉质的影响同样是不容忽视的[20]。研究表明肌肉细胞膜上的不饱和脂肪酸极易受到氧自由基的氧化，破坏肌肉细胞的完整性，致使肌肉中肌红蛋白的流失增多，从而使肉品质降低[21]。寇庆等[22]对肉鸡的研究表明，在饲粮中添加 0.3 mg/kg 的酵母硒可显著提高肌肉 SOD 活力，降低肌肉 MDA 含量。另有研究表明在生长肥育猪饲粮中补充 0.3 mg/kg 的酵母硒能增强肌肉中 SOD 和 GSH-Px 的活力，同时使肌肉中 MDA 含量得到下降[23]。本试验研究显示，饲粮添加甘氨酸纳米硒可在一定程度上可以提高肌肉 CAT、GSH-Px、SOD 活力及 T-AOC，同时肌肉中 MDA 含量也有所降低，表明甘氨酸纳米硒可使肌肉的抗氧化能力增强，从而为防止肉品质下降过快起到促进作用。

3.3　甘氨酸纳米硒对肥育猪脏器抗氧化能力的影响

硒是人和动物机体必需的微量元素之一，它能清除体内过多的自由基，从而提高机体抗氧化能力，防止细胞或组织因脂质化而受到损害，维护动物机体健康。研究表明肝脏和肾脏不仅是动物机体内的重要解毒器官，同时也是动物机体内代谢硒的重要场所。硒是动物机体内重要的抗氧化酶 GSH-Px 的活性成分，所以动物饲粮中硒的含量很大程度上影响组织器官中抗氧化酶的活力。研究表明，缺硒饲粮会导致机体本身抗氧化酶的活力下降，进而影响动

物机体抗氧化能力[24]。另有报道指出给大鼠饲喂含 0.2 mg/kg 的纳米硒的饲粮可以提高大鼠肝脏、肾脏和心脏中 SOD、GSH-Px 以及 CAT 活力，降低其脏器内 MDA 含量[25]。本试验研究结果表明，3 个添加水平的甘氨酸纳米硒添加组的心脏、肾脏、肝脏和胰脏中 SOD、GSH-Px、CAT 活力和 T-AOC 均较对照组有不同程度的上升，而心脏、肾脏、肝脏和胰脏中 MDA 含量则有不同程度的下降。综上所述，饲粮添加甘氨酸纳米硒对提高肥育猪各脏器抗氧化能力有促进作用，且以添加水平为 0.5 mg/kg 时效果最好。

3.4 纳米硒对育肥猪硒含量的影响

硒被动物代谢吸收后广泛存在于各组织中，在硒的安全添加剂量内，过多的硒会通过尿液等途径排出体外。各组织器官中硒含量的多少不仅与添加的硒源和添加水平有关，而且与动物种类有关。研究者分别以不同剂量的蛋氨酸硒、酵母硒、无机硒添加到基础饲粮中作为试验组，基础饲粮为对照组，通过饲喂肉仔鸡研究硒对其血浆和组织器官硒含量的影响。结果表明，补硒组较对照组显著提高了肉仔鸡肝脏、肾脏、胸肌和血浆中硒含量；相同添加水平下，蛋氨酸硒的添加效果优于酵母硒，无机硒的添加效果最差；补硒组中以最高添加水平 0.7 mg/kg 的效果最佳[26]。张磊等[27]研究富硒地区山羊体内硒含量的试验发现，富硒地区山羊的心脏、肝脏、脾脏、血清中硒含量显著或极显著高于正常硒水平地区的山羊。本试验中，在饲粮中添加不同水平的纳米硒均可极显著提高肥育猪血清和各组织器官中硒含量，且随添加水平的增加，血清和各组织器官中硒含量极显著升高。农业部 1224 号公告指出，含硒饲料添加剂在配合饲料或全混合日粮中的最高限量为 0.5 mg/kg。在避免饲粮中硒含量超标的前提下，本试验的最高硒添加水平设为 0.5 mg/kg，在此添加水平下肥育猪机体硒含量最高。

4 结　论

饲粮添加甘氨酸纳米硒能提高肥育猪血清及组织器官的抗氧化能力，并提高肥育猪血清及组织器官硒含量，综合考虑，以添加水平为 0.5 mg/kg 时效果最佳。

参考文献：

[1] HATFIELD D L,TSUJI P A,CARLSON B A,et al.Selenium and selenocysteine:roles in cancer,health,and development[J].Trends in Biochemical Sciences,2014,39(3):112–120.

[2] SHINI S,SULTAN A,BRYDEN W L.Selenium biochemistry and bioavailability:implications for animal agriculture[J].Agriculture,2015,5(4):1277–1288.

[3] EL DEMERDASH F M,Nasr H M.Antioxidant effect of selenium on lipid peroxidation,hyperlipidemia and biochemical parameters in rats exposed to diazinon[J].Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,2014,28(1):89–93.

[4] HABIBIAN M,GHAZI S,MOEINI M M,et al.Effects of dietary selenium and vitamin E on immune response and biological blood parameters of broilers reared under thermoneutral or heat stress conditions[J].International Journal of Biometeorology,2014,58(5):741–752.

[5] SURAI P F,FISININ V I.Selenium in pig nutrition and reproduction:boars and semen quality-a review[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2015,28(5):730–746.

[6] VINCETI M,FILIPPINI T,CILLONI S,et al.The epidemiology of selenium and human cancer[J].Advances in Cancer Research,2017,136:1–48,doi:10.1016/bs.acr.2017.07.001.

[7] COLLINS D E,EATON K A,HOENERHOFF M J.Spontaneous dilated cardiomyopathy and right-sided heart failure as a differential diagnosis for *Hepatosis dietetica* in a production pig[J].Comparative Medicine,2015,65(4):327–332.

[8] YAO H D,ZHAO W C,ZHAO X,et al.Selenium deficiency mainly influences the gene expressions of antioxidative selenoproteins in chicken muscles[J].Biological Trace Element Research,2014,161(3):318–327.

[9] BERMINGHAM E N,HESKETH J E,SINCLAIR B R,et al.Selenium-enriched foods are more effective at increasing glutathione peroxidase (GPx) activity compared with selenomethionine:a meta-analysis[J].Nutrients,2014,6(10):4002–4031.

[10] 王学东,戴晋军,李彪.酵母硒的特点及其在养猪中的应用[J].养猪,2009(5):6–8.

[11] 王亮,单安山.纳米硒在动物营养中的研究进展[J].中国畜牧兽医,2011,38(4):38–42.

[12] 张乙山,边连全,游思亲.三种硒源对生长肥育猪组织硒沉积及抗氧化能力的影响[J].饲料工业,2008,29(1):18–20.

[13] 夏枚生,胡彩虹,王旭晖,等.纳米硒对仔猪生长和抗氧化的影响[J].中国畜牧杂志,2006,42(3):28–30.

[14] 胡彩虹,王旭晖,张赛君,等.纳米硒对断奶仔猪生长和免疫的影响[J].科技通报,2007,23(2):215–218,224.

[15] 陈桂英,岳炳辉.纳米硒对断奶仔猪生长性能的影响[J].上海畜牧兽医通讯,2008(6):73–74.

[16] 林长光,林金玉,刘东霞,等.不同硒源对断奶仔猪生长性能、血清抗氧化能力和血浆硒含量的影响[J].畜牧兽医学报,2013,44(11):1790–1796.

[17] 夏枚生,张红梅,胡彩虹.纳米硒对肥育猪肌肉品质的影响[J].浙江大学学报:农业与生命科学版,2005,31(3):263–268.

[18] 林长光,郑金贵,林金玉,等.不同硒源及硒水平对断奶仔猪生长性能、免疫功能和甲状腺激素水平的影响[J].中国饲料,2013(21):20–24,26.

[19] 刘兆红,岳炳辉.氧自由基对动物机体的毒性作用[J].上海畜牧兽医通讯,2005(3):57.

[20] 李绍华,刘大建,郭削锋,等.肥育猪饲粮中添加维生素 E 对猪肉品质的影响[J].养猪,2002(3):18–19.

[21] 李青萍,乔秀红,王向东.饲粮中添加维生素 E 对猪肉质的影响[J].中国畜牧杂志,2003,39(5):34–35.

[22] 寇庆,梁咪娟,陶亮亮.酵母硒对肉鸡组织硒含量及抗氧化能力的影响[J].粮食与饲料工业,2012,12(1):48–50.

[23] 何宏超,李彪.酵母硒对猪机体硒含量、抗氧化能力和肉质的影响[J].饲料研

究,2011(4):50–51,55.

[24] VENARDOS K,HARRISON G,HEADRICK J,et al.Effects of dietary selenium on glutathione peroxidase and thioredoxin reductase activity and recovery from cardiac ischemia-reperfusion[J].Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,2005,18(1):81–88.

[25] 和玉丹.纳米硒对雄性 SD 大鼠抗氧化、生殖功能的影响及毒性机理研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2014:60–65.

[26] 郭军蕊.有机硒在肉仔鸡饲料中的有效性和安全性评价研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2014:23–38.

[27] 张磊,周占琴,付明哲,等.富硒地区山羊组织中的硒沉积量及其对 PHGPx 表达的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2014,42(11):1–7.

Effects of Glycine Nanoselenium Supplementation on Antioxidant Capacity and Selenium Content in Serum, Tissue and Organs of Finishing Pigs

DAI Wuzhou[1] HU Xiaolong[1] ZHENG Yunlin[1*] HONG Zuopeng[2]

（1. *College of Animal Science and Technology*, *Jiangxi Agricultural University*, *Nanchang* 330045, *China*; 2. *Zhejiang Weifeng Bio-Technology Co., Ltd.*, *Jiande* 311600, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of glycine nanoselenium supplementation on antioxidant capacity and selenium content in serum, tissue and organs of finishing pigs.One hundred and sixty DLY crossbred pigs with an average body weight about 70 kg were randomly allocated into 4 groups with 4 replicates per group and 10 pigs per replicate. The pigs in control group fed a basal diet, which those in experimental groups fed experimental diets which added 0.1, 0.3 and 0.5 mg/kg（in selenium）glycine nanoselenium into the basal diet, repectively. The preliminary period lasted for 5 days and the formal period lasted for 60 days. The results showed as follows: 1) the activity of glutathione peroxidase in liver, kidney, pancreas and heart of pigs in 0.1 mg/kg group was significantly higher than that in control group (P<0.05), as

*Corresponding author, associate professor, E-mail: 13907098011@163.com （责任编辑　菅景颖）

well as the total antioxidant capacity and superoxide dismutase activity in serum ($P<0.05$). 2) Compared with the control group, adding 0.3 and 0.5 mg/kg glycine nanoselenium into diet significantly increased the activity of glutathion peroxidase in serum, muscle, liver, kidney, pancreas and heart of pigs ($P<0.01$), whereas significantly declined the concent of malondialdehyde in serum, muscle, liver, kidney, pancreas and heart of pigs ($P<0.01$). Furthermore, the activity of superoxide dismutase and catalase in liver of pigs in 0.3 mg/kg group was significantly increased ($P<0.01$), and total antioxidant capacity and superoxide dismutase activity in pancreas and heart of pigs in 0.5 mg/kg group was significantly increased compared with the control group ($P<0.01$). 3） The selenium content in serum, muscle, liver, kidney, pancreas and heart of pigs in 0.1, 0.3 and 0.5 mg/kg groups was significantly increased compared with the control group ($P<0.01$). It is indicated that glycine nanoselenium supplementation can improve the antioxidant capacity and selenium content in serum, tissue and organs of finishing pigs, and the optimal supplemental level of glycine nanoselenium is 0.5 mg/kg.

Key words: finishing pigs; glycine nanoselenium; antioxidant capacity; glutathion peroxidase